

# 顶管技术在市政给排水施工中的应用解析

文 / 车 力 利辛县开源水务有限公司

**摘要：**顶管技术因其非开挖施工优势在市政给排水工程中得到了广泛应用，本文系统分析了顶管技术的基本原理与工艺流程，结合实际工程案例探讨了该技术在复杂地质条件、狭小施工环境下的适应性，重点阐述了顶管施工过程中的质量控制与安全管理措施，针对施工中的技术难点提出了解决方案，并对施工的环境保护与可持续发展策略进行了总结。研究明确了顶管技术在提升市政给排水施工效率、降低环境破坏、保障工程质量等方面的技术价值，为市政工程中顶管技术的应用提供了重要参考。

**关键词：**顶管技术；市政工程；给排水施工；非开挖技术；安全管理

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2025.10.019

## 引言

随着城市化进程的加快，传统开挖施工方式在空间限制、施工周期和环境影响等方面的不足逐渐显现，非开挖施工技术应运而生，作为非开挖技术的重要手段，顶管技术以其对地表环境扰动小、施工精度高、适应复杂地质条件等优势，得到了市政工程领域的广泛应用。顶管技术在市政给排水工程中有效解决了施工过程中管道铺设的技术难题，并在提高施工效率、节约资源和减少环境污染方面展现出重要价值。本文以顶管技术在市政给排水施工中的应用为研究对象，围绕技术原理、实际应用、适应性分析、质量控制和安全管理等方面进行探讨，旨在为相关领域提供技术支持和工程参考。

### 一、顶管技术的基本原理与工艺流程

#### （一）顶管技术的工作原理及适用范围

顶管技术是一种借助液压顶推装置将管道沿预设轨迹向前推进的非开挖施工方法，其基本工作原理是利用顶力将管道克服土体阻力逐步推进到预定位置，并依靠切削装置和泥水循环系统清除前方土体。顶管技术依靠在施工过程中对管道的精确导向和实时监控，保障了施工轨迹的准确性，从而避免了地表沉降或移位对周围环境和建筑物的影响，顶管技术特别适合在地下水位较高、地质条件复杂以及空间受限的场地中开展施工，在市政给排水工程中顶管技术适用于大口径管道铺设、深埋管道的非开挖施工，以及穿越铁路、公路和河流等关键节点的工程。对于地质条件复杂的区域如流沙层、软黏土层与岩石层，顶管技术可以采用不同的掘进工具和施工方法进行有效适配，使其具有较高的适应性。

#### （二）顶管施工的主要设备及技术参数

开挖式顶管机适用于地质条件稳定的地区，但土压平衡顶管机和泥水平衡顶管机则分别适合于软土层和含水量较高的地层，可以有效防止施工过程中的地层坍塌。液压顶推系统通常包括主顶油缸和辅助顶油缸，主顶油缸用于克服土体阻力并推进管道，而辅助顶油缸主要用于调整顶力方向，保证管道沿预定轨迹前进。切削系统

的刀盘设计需要根据地质条件进行调整如在软土层中采用滚刀刀盘，而在硬岩层中则需采用金刚石刀具，以提高切削效率并延长设备寿命。顶力需与土体阻力和管道长度相匹配，以避免因顶力不足导致施工停滞或因顶力过大引发管道变形；掘进速度需控制在合理范围内，以保证施工稳定性和土体扰动最小化。泥水压力需根据地层渗透性和地下水位进行调节，既要维持切削面的稳定性，又要避免泥水外渗导致周边土体破坏，管道偏差控制精度通常要求在毫米级范围内，依靠激光导向系统和实时监控设备进行校正来保证施工精度。

#### （三）顶管工艺流程的关键环节与技术要点

顶管施工工艺流程主要包括施工准备、始发段施工、管道推进和接收段施工四个关键环节，在施工准备阶段需对施工场地进行详细勘察和地质分析，以明确地下水位、土体性质和地质分层等关键信息，从而优化施工方案和设备选择，还需对顶管机、液压顶推系统和泥水循环系统进行全面检查与调试。始发段施工的关键在于始发井的设计与施工，始发井需具备足够的结构强度和防渗性能，并且始发段的导向轨道需要准确安装以保证管道推进过程的平稳性，顶管机在始发过程中需逐步破土掘进，并依靠激光导向系统实时监测掘进轨迹。

管道的技术要点在于顶力的控制、管道拼接的密封性和掘进轨迹的校正，顶力控制需根据土体阻力、推进速度和泥水压力进行动态调整，避免因顶力过大导致管道损坏或因顶力不足影响施工效率，管道拼接需采用高强度密封材料和精准对接工艺以保证管道的整体密闭性和抗渗性能<sup>[1]</sup>。掘进轨迹校正需借助激光导向系统和实时监控设备进行精确调整，避免因轨迹偏差导致后续施工难度增加。接收段施工的关键在于接收井的设计与管道的精准接收，接收井需根据地质条件和管道尺寸进行优化设计，以保证施工过程的稳定性和安全性，在管道接收过程中需借助激光定位和实时监控技术对管道末端位置进行精确控制，避免出现位置偏差与连接不良的问题。

## 二、顶管技术在市政给排水施工中的适应性分析

### (一) 顶管技术对复杂地质条件的适应能力

顶管技术具有出色的适应能力，可以在多种复杂地质条件下高效施工，在软土层、砂土层、硬岩层和地下水丰富的区域，顶管技术借助不同的施工方法和设备组合实现适应，软土层施工通常采用土压平衡顶管机，控制土压和泥水压力来减少地表沉降和管道偏移。在硬岩层中采用金刚石刀盘的顶管机能够有效切削岩石，并借助液压顶推装置提供稳定的推进力，泥水平衡顶管机在地下水位较高的区域可利用泥浆形成平衡压力，有效防止地下水渗入和地层坍塌。在城市密集区由于施工场地受限，传统的开挖施工方式常面临空间不足、噪声污染和交通中断等问题，顶管技术通过非开挖方式，仅需在管道两端设置始发井和接收井即可完成施工，大幅降低了对地表环境的干扰。顶管技术的设备布局紧凑，施工过程中无需占用大量地表空间可以有效解决施工场地不足的问题，结合激光导向系统和实时监控技术，顶管施工在狭小空间中也能保持较高的施工精度，为城市管网的扩建和改造提供了理想解决方案。

### (二) 市政管道铺设中顶管技术的适用性评估

某市政工程需在一条主干道下方铺设直径为 1200 毫米的排水管道，全长 800 米，地质条件为含水量较高的砂土层，地下水位距地表 5 米。传统开挖方式因施工区域地表交通繁忙无法实施，因此选择顶管技术。在施工前对施工区域的地质条件、管道设计参数和施工要求进行系统评估，确定了顶管技术的适用性。评估指标包括地质稳定性、土体硬度、地下水位、管道直径和施工精度要求，依靠专家打分法对各指标赋值，并结合权重计算总分。具体评估数据如表 1 所示：

表 1：某市政工程铺设中顶管技术的评估数据

评估指标	评估值 (0-10分)	权重	加权得分
地质稳定性	8.5	0.25	2.125
土体硬度	7	0.2	1.4
地下水位	6.5	0.15	0.975
管道直径	9	0.2	1.8
施工精度要求	8.8	0.2	1.76

表 1 可以得知顶管技术的适用性得分为 8.06，说明该技术在本项目中具备较高的可行性。地质稳定性和管道直径对施工条件贡献较大，显示了顶管技术在砂土层中进行大口径管道铺设的优势。地下水位的影响通过泥水平衡顶管机得到有效控制，施工精度能够满足工程设计要求。泥水平衡顶管机在实际施工中运行平稳，施工轨迹偏差控制在 10 毫米以内，管道铺设完成后未出现地表沉降或地下水渗透问题，整个施工周期比传统开挖方

式缩短约 30%，施工质量得到了充分保障，并对地表交通的影响降至最低，此次工程的成功实施进一步验证了顶管技术在市政给排水施工中的优越性。

## 三、顶管技术在市政给排水施工中的实际应用

### (一) 顶管施工在排水管道非开挖铺设中的案例分析

某市政排水工程需在城市核心区铺设直径 1000 毫米的排水管道，长度为 600 米，地下地质为砂卵石层，地表建筑物密集，地下水位较高。传统开挖方式因对地表建筑和交通影响过大，被非开挖顶管施工替代。施工关键参数与成果如表 2 所示：

项目	参数
地质条件	砂卵石层，地下水位高
管道直径	1000 毫米
管道长度	600 米
顶管设备	泥水平衡顶管机
施工精度	偏差控制在 ±15 毫米
工期	45 天
施工成果	无明显地表沉降，管道接缝密封性能良好，排水效果达到设计要求

施工中使用泥水平衡顶管机，借助泥浆调节平衡前方切削面的压力来防止地层坍塌和地下水渗透，刀盘设计在砂卵石层中为滚刀式以提高切削效率，液压顶推装置提供稳定顶力，激光导向系统保障了高精度施工。施工过程中实时监测泥浆压力、顶力及掘进速度，保证管道推进平稳，完成后管道没有偏移且排水能力完全符合设计标准。

### (二) 顶管技术在大口径给水管道施工中的实践探索

大口径管道的铺设在市政给水工程中会面临施工环境复杂、精度要求高的挑战，某给水工程需在城市周边铺设直径 1600 毫米、长度 900 米的管道，沿途穿越河道和公路，地质条件为硬质砂岩层。为此，采用金刚石刀盘顶管机施工。金刚石刀盘在硬质砂岩层中借助高效切削岩石确保掘进稳定，施工时采用多级液压顶推装置实现长距离顶进，考虑到大口径管道对接缝密封的高要求，借助橡胶密封圈和精密对接工艺以保障接缝防渗性能优良<sup>[2]</sup>。激光导向系统在施工中实时监测管道位置，并结合姿态传感器动态调整顶进方向，泥水循环系统依靠定期更换和清洗，避免因泥浆杂质导致切削效率降低。施工完成后，管道接缝的密封性检测显示其渗透率低于 0.1%，远低于行业标准要求，穿越河道和公路的段落地表沉降量控制在 5 毫米以内，未对周边环境产生影响，此次施工为大口径顶管技术的进一步推广积累了宝贵经验。

### （三）顶管施工技术中的技术难点与解决措施

顶管施工在复杂地质条件下常面临地层坍塌和地下水渗透的挑战，特别是在软黏土层和砂卵石层中，地质不稳定性对施工泥水压力控制和刀盘设计提出了较高要求，长距离顶进过程中，管道表面摩擦阻力逐步累积，可能引发顶力不足或管道变形等问题。长距离施工对激光导向系统的精度依赖较高，而地质条件的变化可能干扰导向精度并增加偏差控制难度，为应对这些挑战，施工中采用泥水平衡与土压平衡顶管机结合合理设计的泥浆配方，借助实时监测压力数据动态调节泥水平衡状态来保证施工稳定性。在长距离顶进中依靠分段设置中继顶推站减少摩擦阻力，并在管道表面涂抹润滑剂以降低摩擦系数，为进一步提高施工精度，采用双激光导向系统并结合姿态传感器进行动态调整，将顶进偏差控制在设计范围内<sup>[3]</sup>。在软土层和砂卵石层中，泥水平衡和土压平衡技术有效防止了地层坍塌和地下水渗透问题，保障了施工的连续性和稳定性。长距离施工中依靠中继顶推站和润滑技术的应用，管道推进顺畅且摩擦力降低且顶力控制更加精准，精度提升措施使施工偏差控制在毫米级范围，满足了高精度施工要求。

## 四、顶管技术在市政给排水施工中的质量控制与安全管理

### （一）顶管施工中的质量控制要点与技术保障措施

顶管施工的质量控制贯穿于设计、施工和验收全过程，管道定位与轨迹控制是施工质量的核心，需借助激光导向系统和实时监测设备进行动态调整，保障施工偏差控制在±15毫米以内。管道接缝的密封性在施工过程中会影响整体质量，采用高性能橡胶密封圈和精密对接工艺能够提高管道防渗能力，泥水系统的参数控制是施工稳定性的关键，泥浆的黏度、密度和流量需根据地质条件动态调整以维持切削面的平衡压力。施工前需对顶管机、液压顶推系统和泥水循环系统进行全面检测，保证刀盘切削效率和液压系统顶力输出达到设计标准，施工过程中需建立质量监控体系，实时记录施工参数如顶力、泥浆压力和掘进速度，发现异常及时处理。验收阶段借助视频监测和气压试验检查管道内部质量和密封性能，来保障工程达到设计要求。

### （二）市政顶管施工过程中的风险识别与安全防护措施

顶管施工风险主要集中在地层坍塌、地下水渗漏、管道偏移和设备故障等方面，地层坍塌风险多发生于软土层或砂卵石层施工中，需要借助泥浆压力平衡和支护措施进行控制，地下水渗漏可能导致地表沉降或管道漂浮，因此施工中需对地下水位进行动态监测，并依靠泥浆屏障与临时抽排措施控制渗漏风险，管道偏移风险与激光导向系统的准确性密切相关，应借助双激光导向设备提高精度<sup>[4]</sup>。安全防护措施需覆盖施工人员、设备运

行和周边环境，施工人员需接受专业培训，掌握设备操作和应急处理技能并配备个人防护装备，在施工区域设置隔离装置和安全警示标志，防止非施工人员进入施工场地，设备运行过程中需设立专人监控液压系统、泥浆系统和顶管机运行状态，及时排除潜在隐患。为保护周边环境，施工过程中需严格控制噪声与振动和泥浆排放量，来减少对居民生活和生态环境的影响。

### （三）顶管施工技术的环境保护与可持续发展策略

泥浆处理是环境保护的重要环节，借助循环利用和沉降分离技术可以减少泥浆排放量，并降低对土壤和水体的污染，施工设备的能源消耗需要依靠优化顶管机能耗和液压系统效率加以控制，并采用低噪声、低排放设备减少施工过程中对空气和声环境的影响<sup>[5]</sup>。顶管技术需结合数字化施工和绿色施工理念，数字化施工可根据实时监控和大数据分析优化施工参数，减少资源浪费和施工风险，绿色施工理念体现在对施工废弃物的分类回收和再利用，以降低工程的环境足迹，顶管技术应在工程设计阶段充分评估环境影响，合理选址和规划施工路径，最大限度地保护自然生态系统和人类居住环境。

## 结语

顶管技术借助非开挖施工方法有效解决了复杂地质条件和空间受限环境下的施工难题，降低了对地表环境的扰动，提升了工程质量和施工效率，顶管技术在市政工程中推动了先进施工设备和工艺的应用，为行业技术进步奠定了坚实基础。顶管技术在未来发展中需要进一步优化设备性能和施工工艺，提升对极端地质条件的适应能力并结合数字化技术和智能化管理，实现施工全过程的精细化控制与高效运作。研究层面可围绕管道材料性能提升、环境保护策略优化以及施工风险动态管理展开，为顶管技术的可持续发展提供理论支撑。本文系统分析了顶管技术的原理以及质量和安全管理措施，总结了其在市政给排水工程中的优势与局限为相关工程实践提供了参考，并展望了未来的研究方向和技术发展趋势。

## 参考文献

- [1] 王文霖. 市政工程顶管施工技术及其质量控制研究[J]. 中国住宅设施, 2024, (12): 107-109.
- [2] 陆凯杰. 顶管技术在市政给排水施工中的应用探讨[J]. 工程技术研究, 2024, 9(24): 51-53.
- [3] 蔡国圈. 长距离顶管施工技术在市政给排水施工中的运用[J]. 上海建材, 2024, (05): 113-116.
- [4] 罗伟, 吴汉武, 郑燕. 市政工程不同地层水钻法人工顶管施工技术研究[J]. 云南水力发电, 2024, 40(10): 86-90.
- [5] 黄小庆, 亢泽. 给排水长距离顶管施工技术的优势及风险[J]. 河北建筑工程学院学报, 2024, 42(03): 136-140.